

IGES 概論

中塚久世 (株式会社マイクロ・シー・エー・デー)

はじめに

図形処理アプリケーションが増大するに伴い、これを統合し一貫したCAD/CAMシステムとして効果的に利用する必要が強く認識されるようになってきた。これを反映して、ここ数年、グラフィック・ソフトウェアの標準化の動きが活発である。CORE SystemやGKSなど、グラフィック・パッケージの分野での標準化が注目されている間に、米国では、CAD/CAMシステムの本質的なデータ、すなわち製品を規定する図面および形状データの伝達方法の標準化が進められ、異例のスピードでANSIの規格(ANSI Y14.26M)になった。これは、異なるCAD/CAMシステム間で、製品定義データ(Product Definition Data)を伝達するための中間ファイルの形式を規定している。

その骨格は、従来からの標準化に関する2つの主要な成果を反映している。第1は、IGES (Initial Graphics Exchange Specification)で、現行の多くの対話型設計製図システムで表現可能なモデル(edge-vertex)をベースとしている。第2は、従来からのANSI Y14.26委員会の活動とCAM-Iが標準として提案した境界表現(Boundary Representation)の形式で、3次元物体の幾何的位相的形狀の記述をベースとしている。この規格では、カード・イメージの中間ファイル(IGESファイル)の形式を規定し、データ・レベルおよび言語レベルで製品定義データを交換できるようにしている。

IGESの背景

現在、CAD/CAMシステムは、製造業の広い分野に普及し、生産性向上の手段として利用されるようになった。このようなCAD/CAMシステムは、ユーザー自身あるいは数多くのベンダーが、それぞれ開発したものであり、相互にデータの互換性がないのが実情である。特に、CAD/CAMの先進国である米国では、複数ベンダーのシステムを使用していることが珍しくないため、データの互換性が潜在的に大きな問題になっていた。

IGESは、元来ICAM(Integrated Computer-Aided Manufacturing)のプロジェクトであった¹⁾。異なるCAD/CAMシステム間で、図面および幾何データを伝達する方法を標準的に確立する必要が強く認識されたのは、1979年9月にデトロイトで行われた国防総省技術助成班(Technology Advisory Group of the Department of Defence)の会議であった。その結果が、当時の米国標準局(National Bureau of Standards)のRoger Nagelを議長とするIGESのプロジェクトである。ボーイング社のWalt Brathwaite、およびGE社のPhilip Kennicottを中心に初期技術委員会が結成され、IGESはICAMか

らNBSに移行された。そして、1980年1月にIGES仕様の第1版が刊行された。この仕様は、Boeing 757および767の開発に効果があったといわれるボーイング社のCIIN(CAD/CAM Integrated Information Network)をベースに、GE社のニュートラル・データベースの概念を参考に機能を追加して作成されたものである。

その後IGES委員会は、1980年5月に従来からのANSI Y14.26.1小委員会の活動と合流し、新しくY14.26M——製品定義データ伝達のための数値表現(Digital Representation for Communication of Product Definition Data)——の規格原案の一部として受け入れられた。そして審議を経て、1981年9月21日に、ANSIの規格(Y14.26M)²⁾として承認された。

一方、ANSI Y14(Engineering Drawings and Related Documents)委員会は、将来のCAD/CAMの発展のためには、システム間のデータの伝達が不可欠と考え、1970年にANSI Y14.26(Computer Aided Preparation of Product Definition Data)委員会を発足させていた。1971年から1974年にかけて、Y14.26.1小委員会は、物体形状の数値表現の標準についての基本的な検討を行っている³⁾。

さらに、CAM-IのGeometric Modeling Projectでは、MCAUTO社に3次元物体の幾何的位相的形狀の標準的な記述方法の設計を依頼している。このレポートは、1979年11月にCAM-Iに提出された⁴⁾。

ANSI Y14.26Mは、これらの活動の集大成である。

IGES委員会は、その後も作業を続け、1983年2月にIGES第2版を刊行した。IGES第2版では従来の機能を整備するばかりではなく、より広い適用分野でIGESが利用できるように拡張されている。またIGESは、昨年12月に開催されたISO TC 184でも検討されようとしている。

IGESの概要

■ IGESの位置付け

IGESは、異なるCAD/CAMシステム間で、製品定義データ

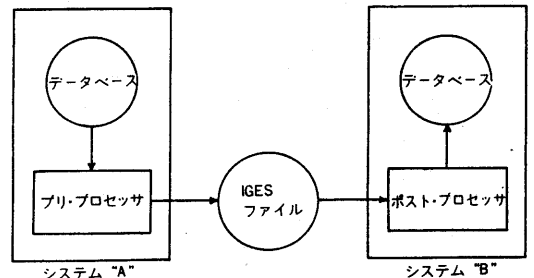


図1 データベースの交換

を伝達するための中間ファイルの形式を規定している。

IGESを使用したデータ交換の概念を図1に示す。まず送り側のシステム(A)は、自身のデータベースからプリ・プロセッサを使用してIGESファイルに変換する。次にIGESファイルは、磁気テープ、カード・デック、あるいは通信回線などの媒体を使用して、受け側のシステム(B)に転送される。最後にシステム(B)は、ポスト・プロセッサを使用してIGESファイルを自身のデータベースに変換する。

■ 構成要素

ANSI Y14.26Mは、IGES部と言語部により構成され、ともに製品定義データを要素(Entity)という構成単位の組合せにより表現する。要素は、要素番号で識別され、幾何要素、表記要素、および構造要素に大別することができる。

① 幾何要素 (Geometric Entities)

幾何要素には、点、線分、曲線、平面あるいは曲面があり、主に製品の幾何形状を、3次元ワイヤー・フレーム・モデルで表現するために使用する。

② 表記要素 (Annotation Entities)

表記要素には、寸法線、引出し線、あるいは注記などがある。

③ 構造要素 (Structure Entities)

構造要素は、結合 (Associativity)、マクロ (Macro)、あるいは子図 (Subfigure) のように、定義 (Definition) と具体形 (Instance) 要素を組み合わせて表現するものと、そのほかに分けられる。結合の要素は、要素間の関係やモデルの投象に関する情報を表現できる。そのほかの要素には、線フォントや文字フォントの定義、特性値、図面、および投象図などがある。

④ 関係要素 (Relation Entities)

関係要素は、構造要素の一つとして位置付けられ、3次元物体の幾何構造、位相構造、あるいはそのほかの構造を言語形式で記述する。

⑤ 領域構造要素 (Domain Structure Entities)

領域構造要素は、構造要素の一つとして位置付けられ、関係要素で使用する特定の属性をもつ集合のエントリと呼ばれる元を記述する。領域構造は、形状記述以外の拡張性をそなえるために用意されたものである。

■ IGES ファイルの形式

図2に示すように、IGESファイルは5つのセクション(部)で構成され、各レコードは、固定長(80字)のASCIIデータである。

① 開始部 (Start Section)

開始部は、コメントを記述する1つ以上のレコードからなる。

② グローバル部 (Global Section)

グローバル部には、IGESファイルを解読するポスト・プロセッサへの情報、例えば単位、精度、語長などをIGES規定の自由形式で記述する。

③ ディレクトリ部 (Directory Entry Section)

ディレクトリ部は、1要素につき2レコードで構成され、図3に示すように固定形式で記述する。

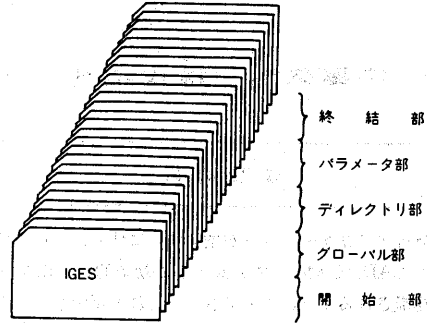


図2 IGESファイルの形式

④ パラメータ部 (Parameter Section)

パラメータ部は各要素ごとに異なり、自由形式で要素の定義データを記述する。なお、定義型の要素を除くすべての要素は、結合の具体形、あるいは注記要素へのポイントと、特性値要素へのポイントを任意の数だけもつことができる。

⑤ 終結部 (Terminate Section)

終結部には、各部のレコード数を記述する。

IGES第2版では、従来のASCII形式のIGESファイル以外に、バイナリ形式のIGESファイルをサポートしている。バイナリ形式を用いれば、ファイル容量は約半分にすることができるとともに、変換スピードも向上できる。

レコード	要素番号	パラメータ部のポイント	版番号	線フォント	レベル	投象	変換行列	ラベル表示	ステータス	シーケンス番号
1	# 1	▶ 2	# ▶ 3	# ▶ 4	# ▶ 5	▶ 6	▶ 7	▶ 8	# 9	D.....10
レコード	要素番号	線幅	ペン番号	パラメータ部のレコード数	形式番号	(子備)	(子備)	要素ラベル	サブスクリプト	シーケンス番号
2	# 11	# 12	# 13	# 14	# 15	16	17	18	# 19	D.....20

(注) # は、番号を示す。
▶ は、ポイントを示す。
#、▶ は、番号かポイントを示す。(ポイントは負)

図3 ディレクトリ部

幾何要素

幾何要素(Geometry Entity)は、次に示す20種類よりなる。このうち、◎印は、第2版で追加されたものを、○印は拡張されたものを示す。

・円弧 (Circular Arc Entity)

○複合曲線 (Composite Curve Entity)

複合曲線は、点、線分、円錐曲線およびスプライン曲線よりなる連続有向曲線である。

● 円錐曲線 (Conic Arc Entity)

円錐曲線は、楕円、双曲線および放物線よりなる弧である。

● 有意点列 (Copious Data Entity)

有意点列は、点列を与えることにより、点列や線分列のみならず、中心線、断面表示、あるいは寸法補助線などのさまざまな図形を表現する。

● 平面 (Plane Entity)

● 線分 (Line Entity)

● スプライン曲線 (Parametric Spline Curve Entity)

スプライン曲線は、パラメータ形式の区間3次式で表現され、スプラインの型 (1次式/2次式/3次式/Wilson Fowler/改良 Wilson Fowler/B-Spline)、分割点での連続性 (連続/1回微分連続/2回微分連続) などを与えることができる。

● スプライン曲面 (Parametric Spline Surface Entity)

スプライン曲面は、パラメータ形式の3次式パッチの格子からなる曲面で、Coons, Bézier, B-Spline, Ferguson など、種々の曲面を表現することができる。

● 点 (Point Entity)

○ 線織面 (Ruled Surface Entity)

● 回転面 (Surface of Revolution Entity)

● 柱面 (Tabulated Cylinder Entity)

○ 変換行列 (Transformation Matrix Entity)

変換行列は、定義空間 (XT, YT, ZT) をモデル空間 (X, Y, Z) に写像する。第2版では、有限要素モデルで用いられる節点変位座標系を表現するため、座標系を拡張し、形式番号で与えるようにしている。(直交座標系 / 円筒座標系 / 球座標系)

◎ 線形経路 (Linear Path Entity)

線形経路は、形式番号11 (2次元) または12 (3次元) の有意点列で表現される。線形経路はプリント基板のパターンを表現するのに用いられ、線幅などの特性値と結合される。

◎ 閉領域 (Simple Closed Area Entity)

閉領域は、形式番号63 (2次元) の有意点列で表現され、線分で囲まれる単純閉領域を表現する。

◎ フラッシュ (Flash Entity)

フラッシュは、プリント基板で用いられるランドなど、特別な閉領域を表現する要素である。閉領域の種類は、形式番号で与える。

◎ 有理Bスプライン曲線 (Rational B-Spline Curve Entity)

有理Bスプライン曲線は、解析的に強力な表現能力をもっているが、伝達の観点からはこれを直接にサポートできるシステム間でのみ用いられるべきで、ほかの要素の代替手段とすべきでない。有理Bスプライン曲線の形式番号は、曲線の形式を与え、線分/円弧/楕円弧/放物線弧/双曲線弧の種別を与えることができる。

◎ 有理Bスプライン曲面 (Rational B-Spline Surface Entity)

有理Bスプライン曲面については、有理Bスプライン曲線と同様である。有理Bスプライン曲面の形式番号は、曲面の形式を与え、平面/円柱面/円錐面/球面/環面 (Torus) / 回転面/柱面 (Tabulated Cylinder) / 線織面/一般2次曲面を与えることができる。

◎ 節点 (Node Entity)

節点は有限要素の定義に用い、幾何学的な点を表現する要素である。節点は局所的な節点座標系をもち、直交座標系 (x, y, z)、円筒座標系 (R, θ, z)、球座標系 (R, θ, ϕ) のいずれかを用いて、荷重、拘束条件、変位置に対する移動、回転成分を表現する。

◎ 有限要素 (Finite Element Entity)

有限要素は、位相、すなわち節点の連結を定義する。IGES の有限要素は、32種類がある。

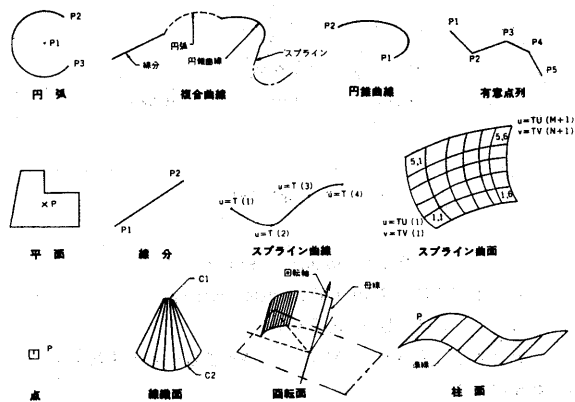


図4 幾何要素

表記要素

表記要素は、図5 (次ページ) に示す13種類の要素よりなる。表記要素は、定義空間、または直接、図面 (Drawing space: 2次元) 上に定義する。なお、IGES では、通常の寸法表示に用いる寸法値は注記要素で、また寸法線は引出し線要素で表現する。

なお、第2版で拡張されているのは、注記のみである。

① 角度寸法 (Angular Dimension Entity)

② 中心線 (Centerline Entity)

中心線は有意点列で表現する。

③ 直径寸法 (Diameter Dimension Entity)

④ フラッグ注記 (Flag Note Entity)

フラッグ注記は、旗状の図形で囲んだ注記である。

⑤ 引出し注記 (General Label Entity)

⑥ 注記 (General Note Entity)

注記は、記事、寸法値、公差、記号などを表現する文字列の集まりである。

⑦ 引出し線 (Leader [Arrow] Entity)

引出し線は、始点に矢印をもった点列であり、組み合わせて寸法線の表現にも使用する。

⑧ 長さの寸法 (Linear Dimension Entity)

⑨ 基準線寸法 (Ordinate Dimension Entity)

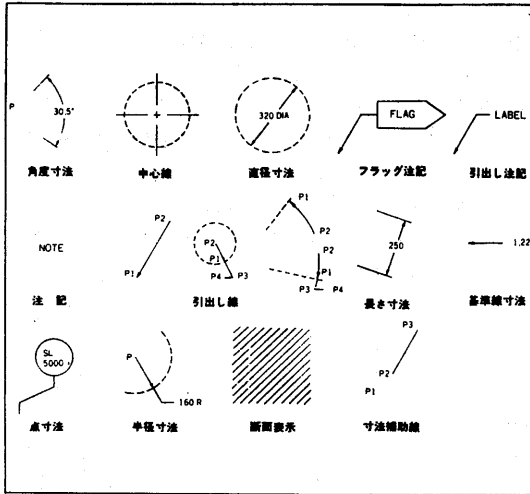


図5 表記要素

⑩ 点寸法 (Point Dimension Entity)

⑪ 半径寸法 (Radius Dimension Entity)

⑫ 断面表示 (Section Entity)

断面表示は有意点列で表現し、奇数番目の点と偶数番目の点
が結ばれる。

⑬ 寸法補助線 (Witness Line Entity)

寸法補助線は有意点列で表現し、奇数番目の点と次の偶数番
目の点の間はギャップとして結ばない。

構造要素

構造要素は、関係要素と領域構造要素とを除いて次の13種類
がある。このうち、◎印は第2版で追加されたものを、○印は
拡張されたものを示す。

① 結合の定義と具体形

結合の定義 (Associativity Definition Entity) は、結合関係
の解釈の方法 (スキーマ) を定義し、結合の具体形 (As-
sociativity Instance Entity) が実際に存在する結合関係を示
す。IGES であらかじめ定義されている結合には、以下がある。

- ・逆ポイントをもつグループ結合
- ・可投影結合 (Views Visible)

幾何要素などが、特定の複数の投影図にのみ表示される
ときに利用する。

- ・ペン制御可投影結合 (Views Visible, Pen, Line Weight)
幾何要素などが複数の投影図に表示されるとき、各図で
線フォント、ペン番号、あるいは線幅が異なるときに利
用する。

・要素ラベル表示 (Entity Label Display)

・投影リスト (View List)

・逆ポイントをもたないグループ結合

◎信号列 (Signal String)

1つの信号について、信号名、接続ノード群、図面上での要
素群、および基板またはチップ上での要素群を関係付ける。

◎片親結合 (Single Parent Associativity)

1つの親と、1つ以上の子からなる関係を定義する。

◎文字ノード (Text Node)

文字の拡張のために使われる。

◎接続ノード (Connect Node)

1つ以上の要素間の論理的な接続を表現する。電気のみなら
ず、配管などにも適用できる。

② 図面 (Drawing Entity)

図面は、2次元の図面上での各投影図のレイアウト情報と、
図面上に直接定義される表記要素へのポイントをもつ。

③ 線フォント (Line Font Definition Entity)

④ マクロの定義と具体形

マクロは、IGESの要素を組み合わせて、ユーザーが新しい要
素を定義し、製品定義のなかで利用することを可能にする手段
である。マクロの定義 (Macro Definition Entity) は、そのパ
ラメータ部に言語形式で記述し、それをマクロの具体形 (Ma-
cro Instance Entity) で引用する。このとき、パラメータを与
えることができる。

⑤ 特性値 (Property Entity)

特性値は、数値あるいは文字列によるデータを含み、形式番
号により特性値の意味付けをすることができる。

特性値には、IGES であらかじめ定義されているものがある。
第1版では未定義であったが、第2版では次のものが定義済み
になっている。

- ・定義レベル (Definition Levels) は、要素が複数レベルに定
義されていることを表現する。
- ・領域制限 (Region Restriction) は、領域を定義する要素に、
その領域に関する適用制限を指定できるようにする特性値であ
る。制限とは、与えられた適用項目が領域内や領域外にけれ
ばならないことを指示することをいう。
- ・レベル機能 (Level Function) は、レベルの機能を識別する
コードを与える。同一レベル値をもつ要素は、特性値で記述さ
れる適用機能ですべて関係付けられる。
- ・塗りつぶし (Region Fill Property) は、閉領域の塗りつぶ
しを指定する。塗りつぶし方法には3種類がある。
- ・線の幅づけ (Line Widening) は、プリント基板のパターン
の表現などに用いられ、次のパラメータをもつ。
 - ・金属パターンの幅
 - ・延長フラッグ(延長しない/半幅だけ延長する/値による)
 - ・整順フラッグ(中心/左/右)
 - ・延長値
- ・ドリル穴 (Drilled Hole) は、プリント基板のドリル穴の加工
に必要とする情報、すなわちドリル径、仕上げ径、穴あけを行
う物理層の上下限を与える。
- ・部品名 (Reference Designator) は、電気部品を表現する要
素に名称を示す文字列を与える。
- ・ピン番号 (Pin Number) は、電気部品のピン番号(ストリン
グ)を与える。

- 部品番号 (Part Number) は共通の電気部品番号を与え、一般名, MIL 規格名, ベンダーの部品番号および内部番号がペアで与えられる。
- 階層 (Hierarchy) は, ディレクトリ部で与えられる各属性の階層を制御する。属性には, 線フォント, ビュー, 要素レベル, ステータス, 線幅, ペン番号があり, それぞれ, その要素, あるいは下位の要素のものが有効であるかを指定する。

⑥ 子図の定義と具体形

子図の定義 (Subfigure Definition Entity) は, その詳細を要素やほかの子図で表現し, 子図の具体形 (Subfigure Instance Entity) で, 位置とスケールを与えて引用する。子図の具体形は, 1 種類のみであったのが, 次の 3 種類になった。

- 子図の単独具体形
- 子図の方状配列
- 子図の環状配列

⑦ 文字フォント (Text Font Definition Entity)

⑧ 投象図 (View Entity)

投象図は, 軸測投象法によりモデルを図面上に投象する。投象の方法は変換行列で与えられ, スケールとクリッピング・ボックスを指定することができる。

3 次元ソリッド物体の言語表現

言語形式では, 製品を表現するための構成単位を要素と呼ぶ。要素は, 幾何, 位相, およびそのほかの要素に大別され, それぞれ, 幾何構造, 位相構造, あるいはそのほかの構造を使用し, 数学的に厳密に定義される。

■ 幾何構造

幾何構造 (Geometric Structures) は, 6 種類に大別され, 点, 曲線, 曲面および立体とそれらの混在する形状を表現する。

① 原始構造 (Primitive Structures)

原始構造は, 点または円を表現する 2 種類の構造よりなる。

- 点構造 (Point Structure)
- 円構造 (Circle Structure)

② 補間構造 (Interpolative Structures)

補間構造は, 混合関数を使用することにより, $M-1$ 次元の 2 つ以上の要素から, M 次元の要素を作る。混合関数の種類により, 以下の 6 種類の補間構造がある。

- 線形構造 (Linear Structure)
- 円弧構造 (Circular Arc Structure)
- 円錐構造 (Conic Arc Structure)
- 3 次式構造 (Cubic Structure)
- N 次多項式構造 (N -th Degree Polynomial Structure)
- スプライン構造 (Spline Structure)

③ 生成構造 (Generative Structures)

生成構造は, $M-1$ 次元の母要素 (generator) を掃引 (sweeping) することにより, M 次元の要素を作る。掃引の方法により, 以下の 3 種類の生成構造がある。

- 移動回転生成構造 (Translation/Rotation Generation Structure)

- 回転生成構造 (Rotation Generation Structure)

- 移動生成構造 (Translation Generation Structure)

④ 特殊構造 (Special Structures)

特殊構造は, 以下の 4 種類よりなる。

- 逆構造 (Reverse Structure)

曲線のパラメータの向きを逆にする。

- 曲線列構造 (Curve String Structure)

- 評価構造 (Evaluation Structure)

特定のパラメータ値について評価した要素を作る。

- 反転構造 (Flip Structure)

曲面要素の法線を逆向きにした要素を作る。

⑤ 点集合構造 (Point Set Structures)

点集合構造は, 点集合論的な演算により形状を表現し, 以下の 4 種類よりなる。

- 次元選択閉包構造 (Dimension Selecting Closure Structure)

幾何構造要素から, 指示された次元の閉包となる形状を取り出す。

- 和構造 (Union Structure)

- 積構造 (Intersection Structure)

- 差構造 (Difference Structure)

⑥ 複写構造 (Replicative Structures)

複写構造は, 回転, 移動, 比例, あるいは鏡像させることにより, 新しい要素を作る。

- 移動回転複写構造 (Translation/Rotation Replication Structure)

- 回転複写構造 (Rotation Replication Structure)

- 移動複写構造 (Translation Replication Structure)

- 比例構造 (Scale Structure)

- 鏡像構造 (Reflection Structure)

■ 位相構造

位相構造 (Topological Structures) は, 幾何要素あるいは位相要素間の位相的な関係を表す。位相構造は, 次の 7 種類よりなる。

① 頂点構造 (Vertex Structure)

頂点は, 点と必要ならば近似点により定義する。

② 稜構造 (Edge Structure)

稜は, 単純曲線と, 必要ならば近似曲線, および始終点の頂点により定義する。単純曲線が閉曲線のときは, 近傍点を与えることにより, 近い方の曲線をとる。

③ 転置構造 (Switch Structure)

転置構造は, 稜の向きを入れ替えたものを作る。

④ 閉稜構造 (Loop Structure)

閉稜構造は, 稜からなる単純閉曲線を作る。

⑤ 面構造 (Face Structure)

面は, 単純曲面と基点, および 1 個以上の閉稜により定義する。面は, 穴をもつことができる。

⑥ 殻構造 (Shell Structure)

殻は, 同調に向き付けられた複数の面よりなる穴のあいていない殻(から)を表す。

⑦ 物体構造 (Object Structure)

物体は、単純立体と1個以上の殻により定義する。物体は、穴をもつことはできるが、島や浮き島をもたない。

図6に位相構造を示す。

■ そのほかの構造

そのほかの構造 (Miscellaneous Structure)にはグループ構造 (Group Structure)があり、製品のアセンブリなどを表現する。

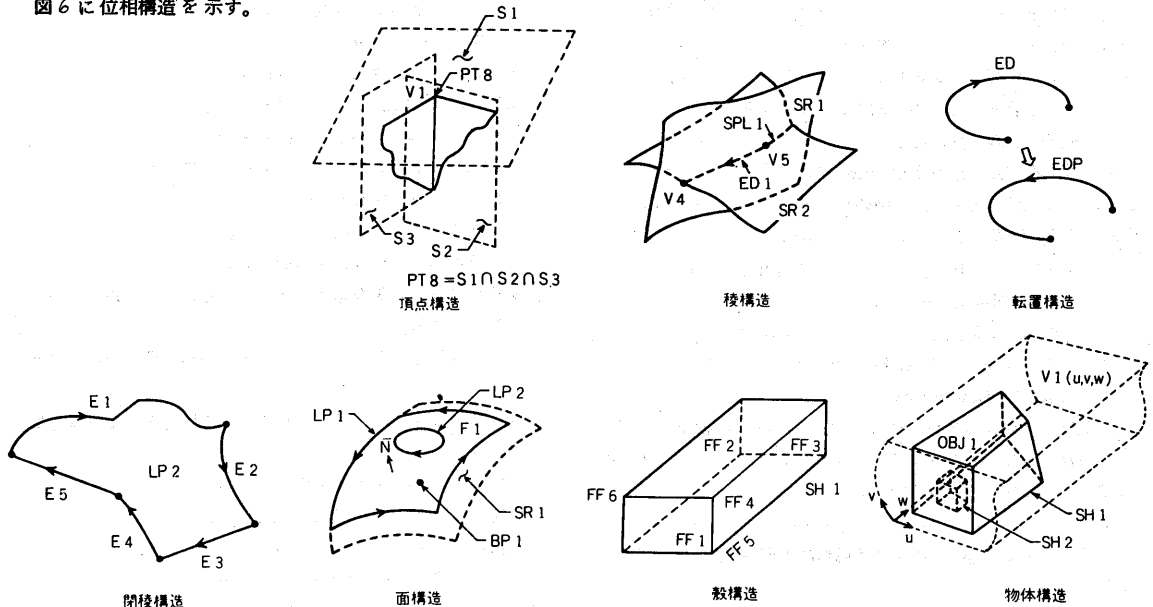


図6 位相構造

おわりに

IGES プロセッサは、現在 CAD/CAM システムのベンダーを中心いくつか開発中であり、すでにリリースされているものもある。ANSI Y14.26M が優れた自己評価を与えているように、本仕様は CAD/CAM システム間のデータ変換についての完全な解を与えているわけではないし、また仕様についての議論もつくされたわけではない。しかし、現在のデータに互換性がないという問題の緩和に向かつての道程を歩み始めたのであり、今後使い方、あるいは仕様の拡張をしていくことにより、さらに現実的な解を出す必要があると思う。

参考文献

- 1) "IGES, newsletter", National Bureau of Standards, Vol, 1, No. 1 May 1980.
- 2) "American National Standards Institute, Y14.26M—Digital Representation for Communication of Product Definition Data"
- 3) "Digital Representation of Physical object Shapes, Y14 Report", The American Society of Mechanical Engineers, 1976.
- 4) "Design of an Experimental Boundary Representation and Management System for Solid Objects, R-80-GM-20", CAM-1, May 1981.
- 5) Initial Graphics Exchange Specification (IGES) Version 2.0, (U.S.) National Bureau of Standards, February 1983